

Bernd Hentschel

Modelltechnische Untersuchung von Stromregelungsbauwerken Gestern – Heute - Morgen

Nürnberger Wasserbau-Symposium
Wasserbauwerke im Wandel der Zeit und des Klimas

7. Dezember 2023



Modell Oder bei Hohenwutzen

Wenige Sekunden im Film => 1 Labortag => morphologisch 4 Jahre Natur

Modelltechnische Untersuchung von Stromregelungsbauwerken

Gestern – Heute - Morgen

Übersicht

- Ein Blick zurück
- Warum überhaupt Laborversuche?
- Theorie, Technik, Handwerk
- Wo stehen wir heute? Wie geht es weiter?



Modelltechnische Untersuchung von Stromregelungsbauwerken

Gestern – Heute - Morgen



Modell der BAW des Rheins am Jungferngrund

Versuche um zu sehen und um zu verstehen

Leonardo Da Vinci (1452 bis 1519)

Systematische Untersuchungen zur Flugparabel von Wasserstrahlen, Wehren und mehr

„Bei Abhandlungen über das Wasser sei stets die experimentelle Erfahrung voranzustellen“.

Isaac Newton (1642 bis 1727)
Ähnlichkeitsgesetze für die Übertragung von Ergebnissen auf die Natur.

Giovanni Poleni (1683 bis 1761)
Überfallformel für Wehre mit Beiwerten

William Froude (1810 bis 1879)
Gesetzmäßigkeiten zur Berücksichtigung der Erdschwere in Strömungsvorgängen

Osborne Reynolds (1842 bis 1912)
Turbulenzforschung



Quellen:
Wikipedia

Labore für systematische Untersuchungen

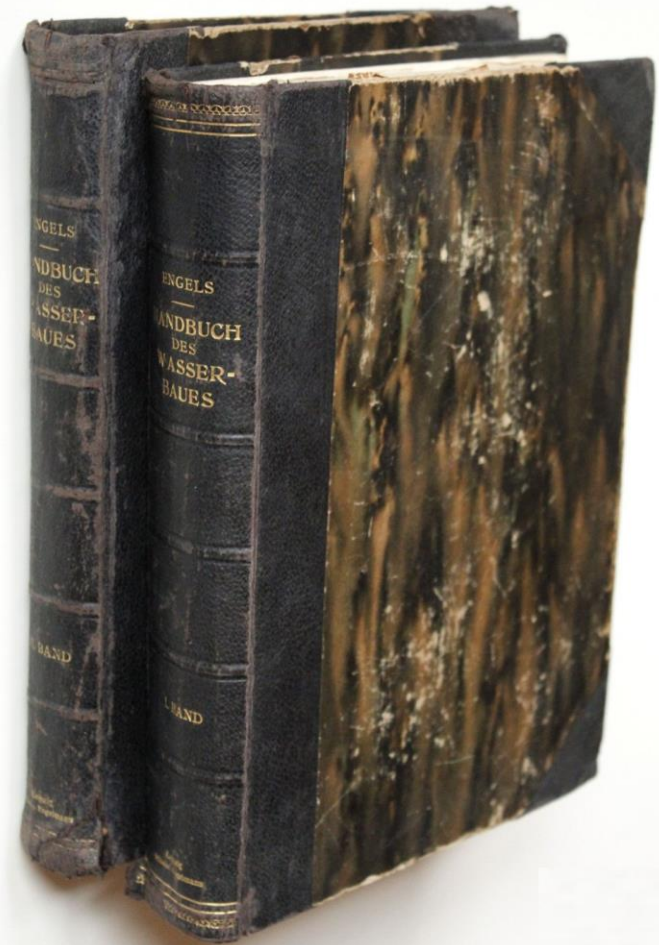
Gründung von Großlaboren:

1898: Wasserlabor, Technischen Hochschule Dresden
(Huber Engels)

1901: Wasserbaulaboratorium, Technische Hochschule Karlsruhe
(Theodor Rehbock)

1904: Königlich-Preußische Versuchsanstalt für Wasser- und Schiffbau
(Hans-Detlef Kreg)
Vorgänger der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)

1966: Labor für Wasserbau der Technischen Hochschule Nürnberg
Erweiterungen 1995 und 2024



*Hubert Engels
Handbuch des Wasserbaus
Band 1 & 2, 1904*

Systematische Untersuchungen für die Praxis und die Wissenschaft

Gründung von Großlaboren:

Vorteile:

Reproduzierbare Untersuchungen

Frei wählbare Randbedingungen (z.B. NW oder HW)

Variantenstudien

Zeitmaßstab (draußen Jahre, im Labor Tage)

Grundlagenuntersuchungen und Projektarbeit

Probleme:

Ähnlichkeitsmechanik

Platz und Kosten

Modelltechnik



Hydraulisches Modell der alten Schleusenanlage Hanekenfähr
in der BAW, Karlsruhe, 1953

Was ist wie vor 100 Jahren?

- Modelle werden in der Lehre verwendet, um hydraulische und hydrologische Grundlagen anschaulich zu vermitteln.
- Für die Öffentlichkeitsarbeit und die Diskussion mit Laien werden sie gut und gerne genutzt.
- Viele Grundlagen, insbesondere zum Feststofftransport, lassen sich nur mit Labormodellen erforschen.
- Qualitativ hochwertige Naturdaten werden für die Kalibrierung der Modelle benötigt.
- Durch eine versierte Anwendung der Ähnlichkeitsgesetze, können Phänomene skaliert werden.
- Durch die Reduktion auf die wesentlichen und relevanten Phänomene und die Beachtung der Modellgesetze ist vieles, aber nicht alles machbar.

Ein Blick zurück: Was ist gleich? Was ist anders?

Was ist heute anders?

- Viele Fragestellungen werden heute mit numerischen Methoden bearbeitet.
- Es gibt kaum noch ein Labormodell, welches nicht mit einem numerischen Modell begleitet wird.
- Die Qualität und Quantität der Naturdaten hat sich wesentlich verbessert.
- Die Modell- und Messtechnik hat sich weiterentwickelt.
- Die Modellgesetze wurden in (kleinen Schritten) weiterentwickelt, so dass heute Versuche mit der erforderlichen Ähnlichkeit möglich sind, die vor Jahrzehnten undenkbar waren.
- Die Anforderungen an Breite und Genauigkeit der Ergebnisse hat deutlich zugenommen (Stichworte Hochwasserschutz, Ökologie, Habitamodellierung und vieles mehr)

Ein Blick zurück: Was kam und was ging? Ein Beispiel von Reitwein an der Oder

Etliche Techniken haben im Wasserbaulichen Versuchswesen über mehrere Jahrzehnte wertvolle Dienste geleistet – und werden nun nicht mehr genutzt.

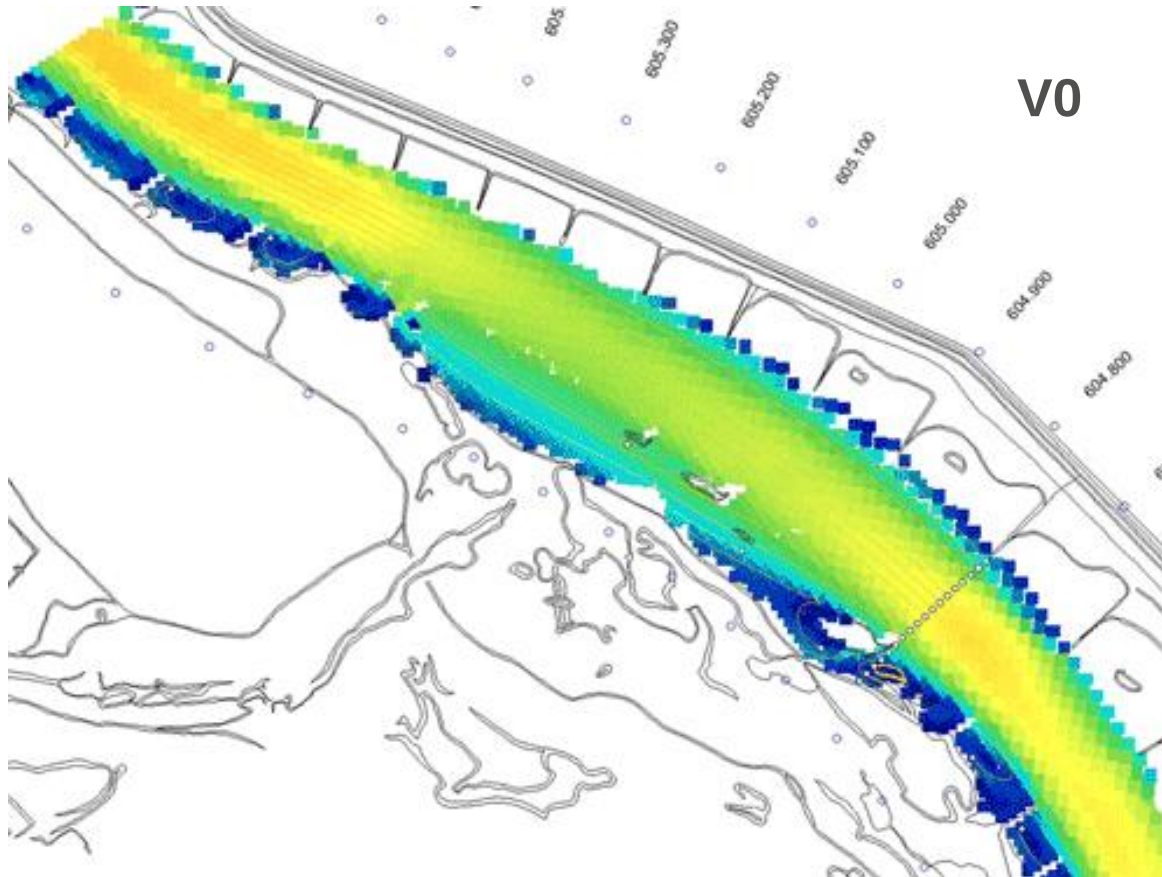


Luftmodell, Oder (Reitwein), Gefrästes 3D-Modell
Sohlstromlinien und LDA-Geschwindigkeiten

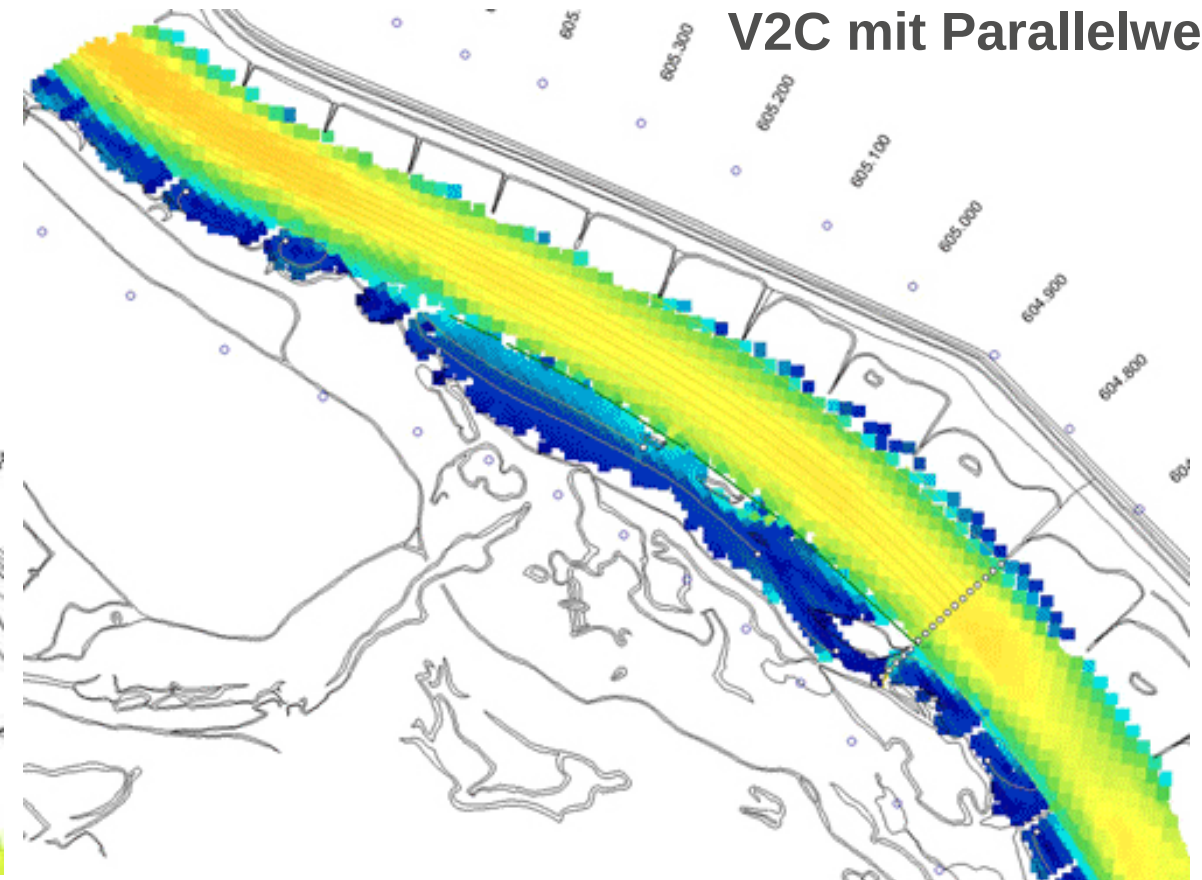
Ein Blick zurück: Was kam und was ging? Ein Beispiel von Reitwein an der Oder

Luftmodell, Oder (Reitwein), Gefrästes 3D-Modell

Umströmte Bauwerke, Geschwindigkeit in Höhe des WSP aus LDA Messungen



V0



V2C mit Parallelwerk

Parallelwerk bei Reitwein an der Oder, Fertigstellung 2019, Fotos 2023 (WSA OH)

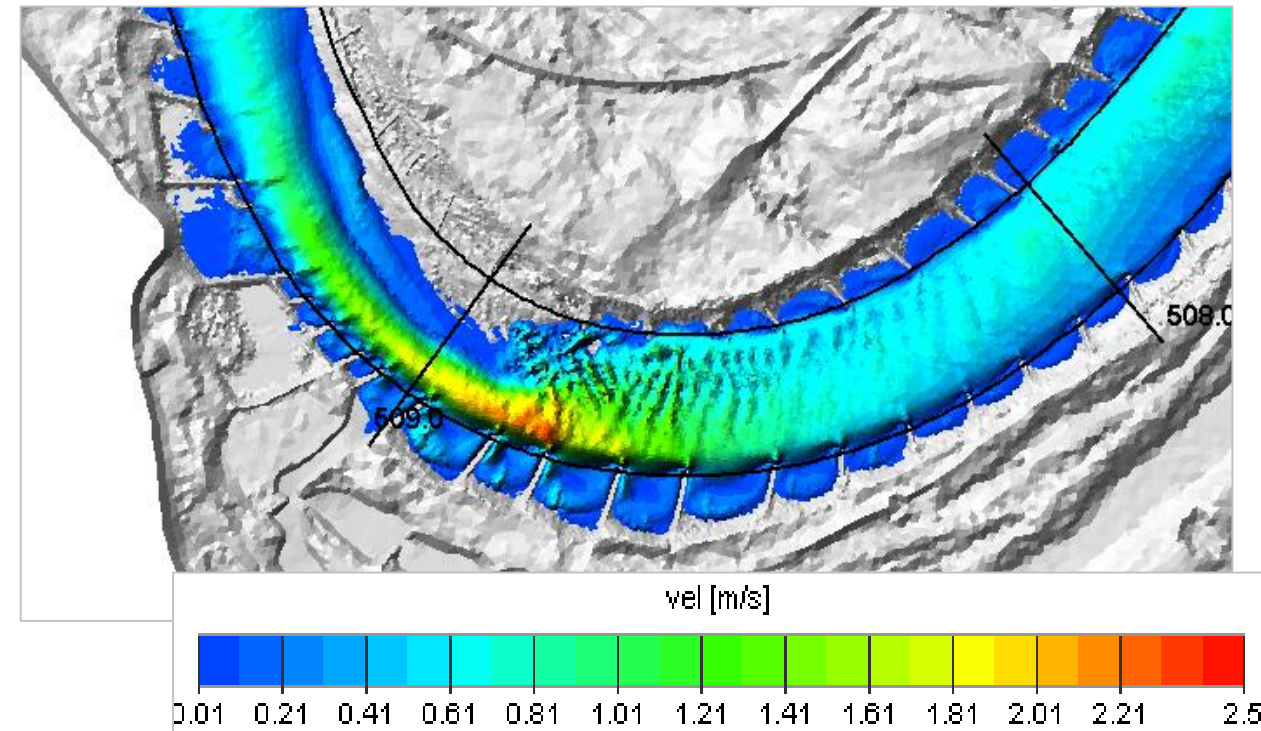
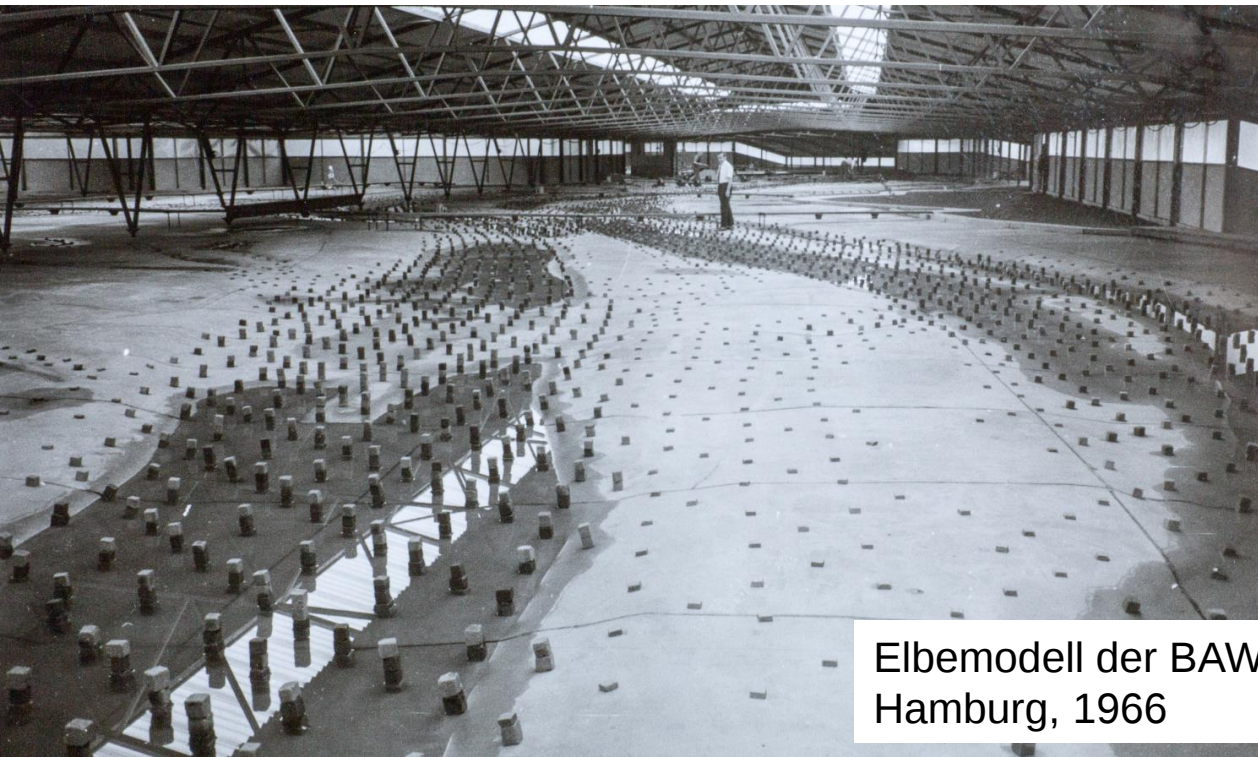
Hochdynamische Sohlstrukturen hinter dem fertig gestellten Parallelwerk

Ziel ist „ein dynamisches Gleichgewicht“.
Ein langfristiges Monitoring um die morphologische Entwicklung
und Dynamik quantifizieren zu können läuft derzeit.



Die Numerik ergänzt das Versuchswesen seit den 1980er Jahren

Die ehemals sehr großen Flächenmodelle gibt es nicht mehr. Hochleistungsrechner ermöglichen komplexe numerische Strömungsanalysen.



Der Laboralltag ändert sich mit dem technischen Fortschritt

Manuelle Arbeit wird heute ergänzt um zum Teil sehr komplexe Druck- und Frästechniken

Handarbeit 1973, BAW Karlsruhe



Aktuelles Modell vom Neckar
Komplexe 3D-Guss & Frästechniken

Ähnliche Aufgaben, ähnliche Techniken

Einebnen der Modellsohle vor einem Versuch mit schwerem und feuchten Sand in den 1950er Jahren und heute bei leichtem Kunststoffgranulat.

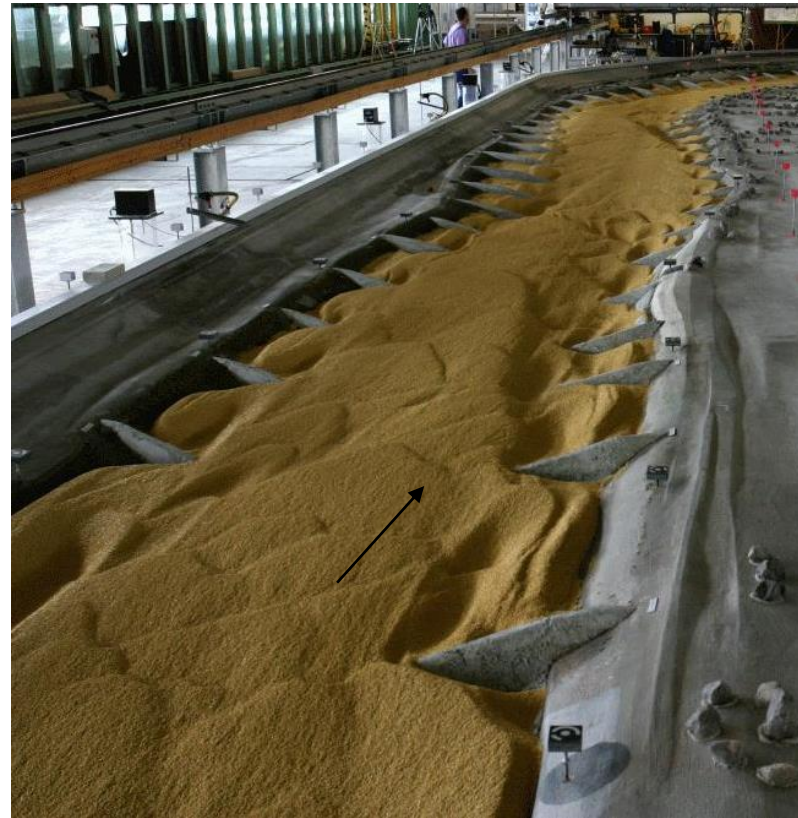


Morphologische Flussmodelle stellen nach wie vor große Herausforderungen dar

Vergleich / Unterschiede „Berliner Methode“ <> Skalierung der Dichte



Oder bei Hohensaaten, 1950er Jahre
Sand, 1:50, Gefälleverstärkt



Oder bei Hohenwutzen, 2000er Jahre
Polystyrol, 1:100 / 1:40, Überhöht

„Berliner Methode“

bis in die 1960er Jahre

Gefälle verstärkt

Natursand

Geringe Wassertiefen

Lange Versuchszeiten

Aktuelle Methode:

Überhöht (Anderer Längen- als Höhenmaßstab)

Sedimentdichte reduziert

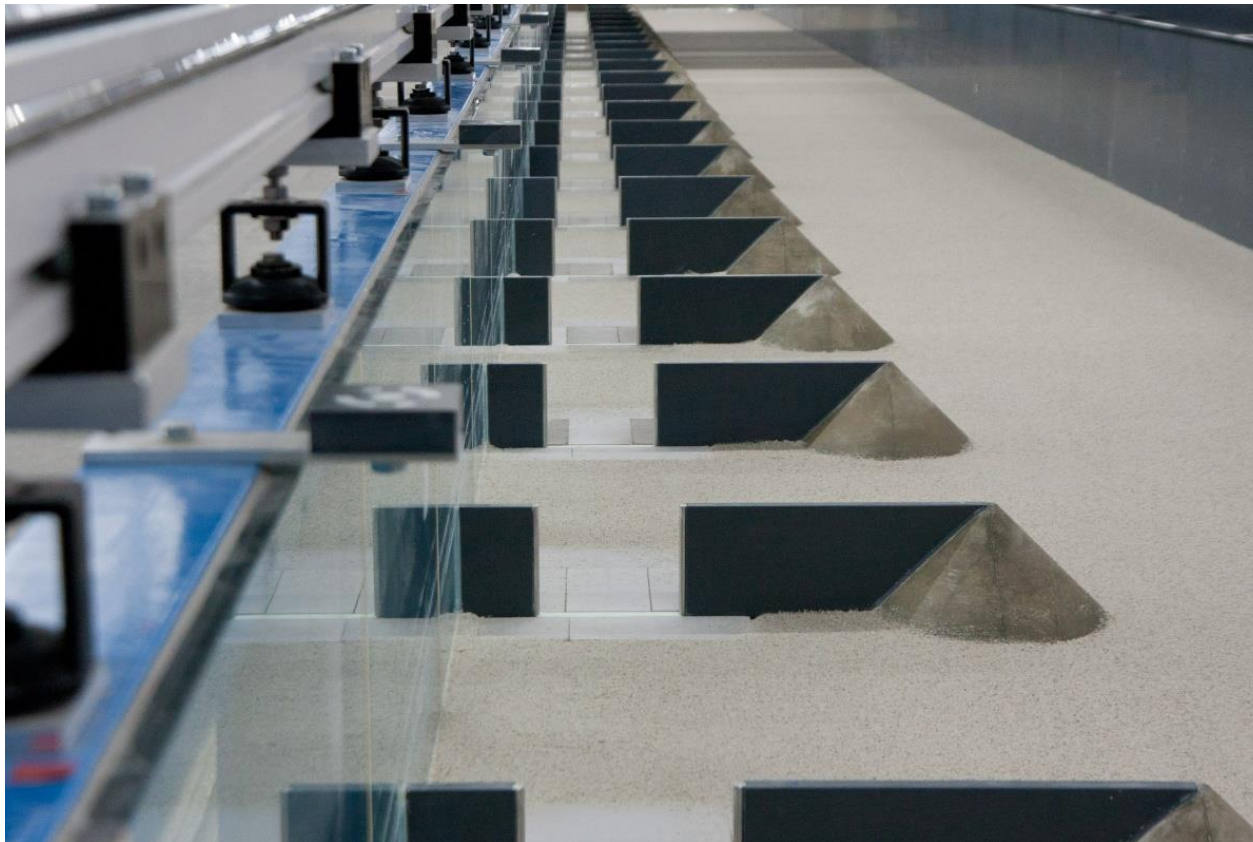
Polystyrol oder andere Kunststoffe

Größere Wassertiefen und Re-Zahlen

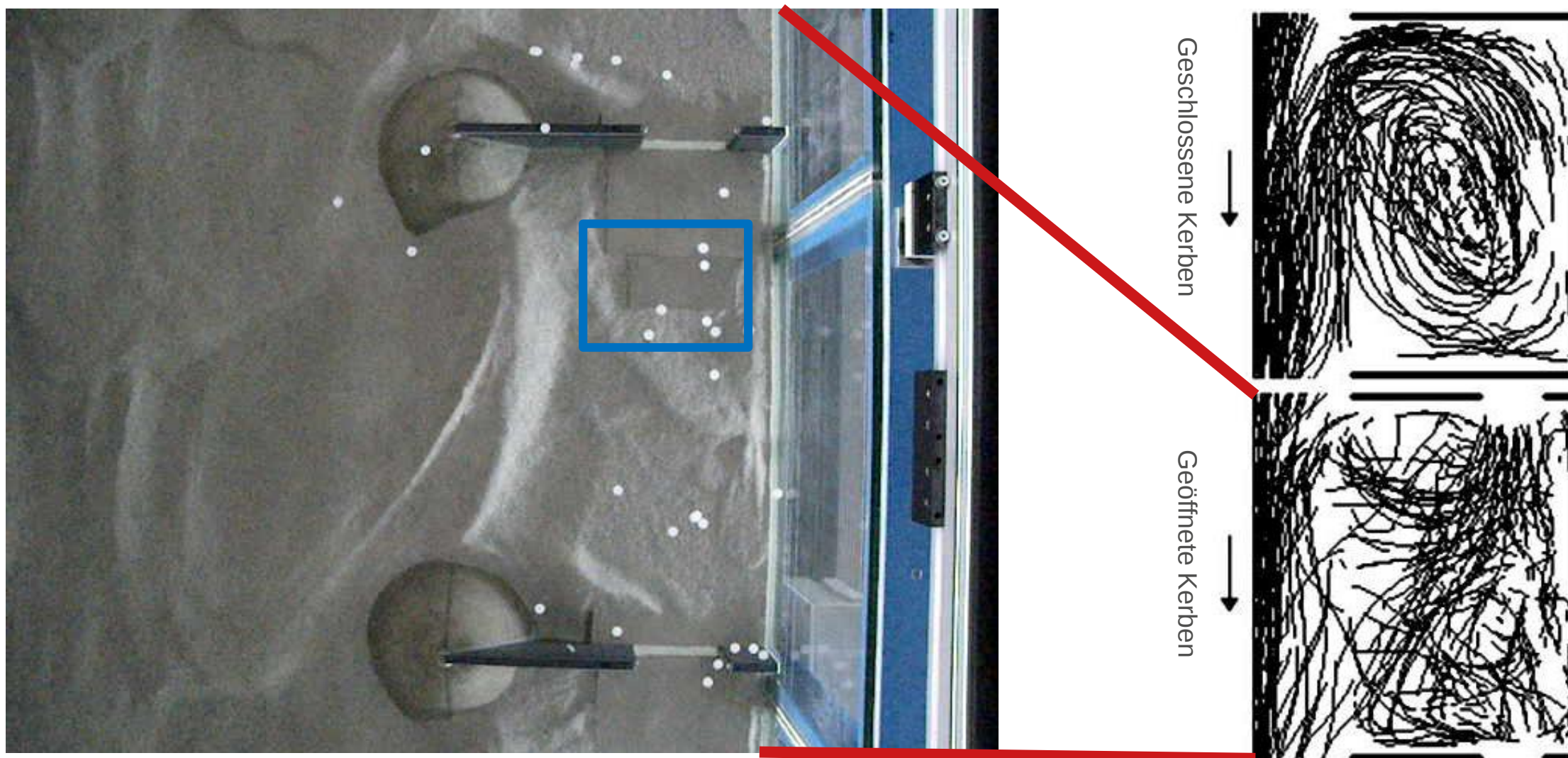
Kurze Versuchszeiten

Systematische Untersuchungen zu Stromregelungsbauwerken in Laborrinnen

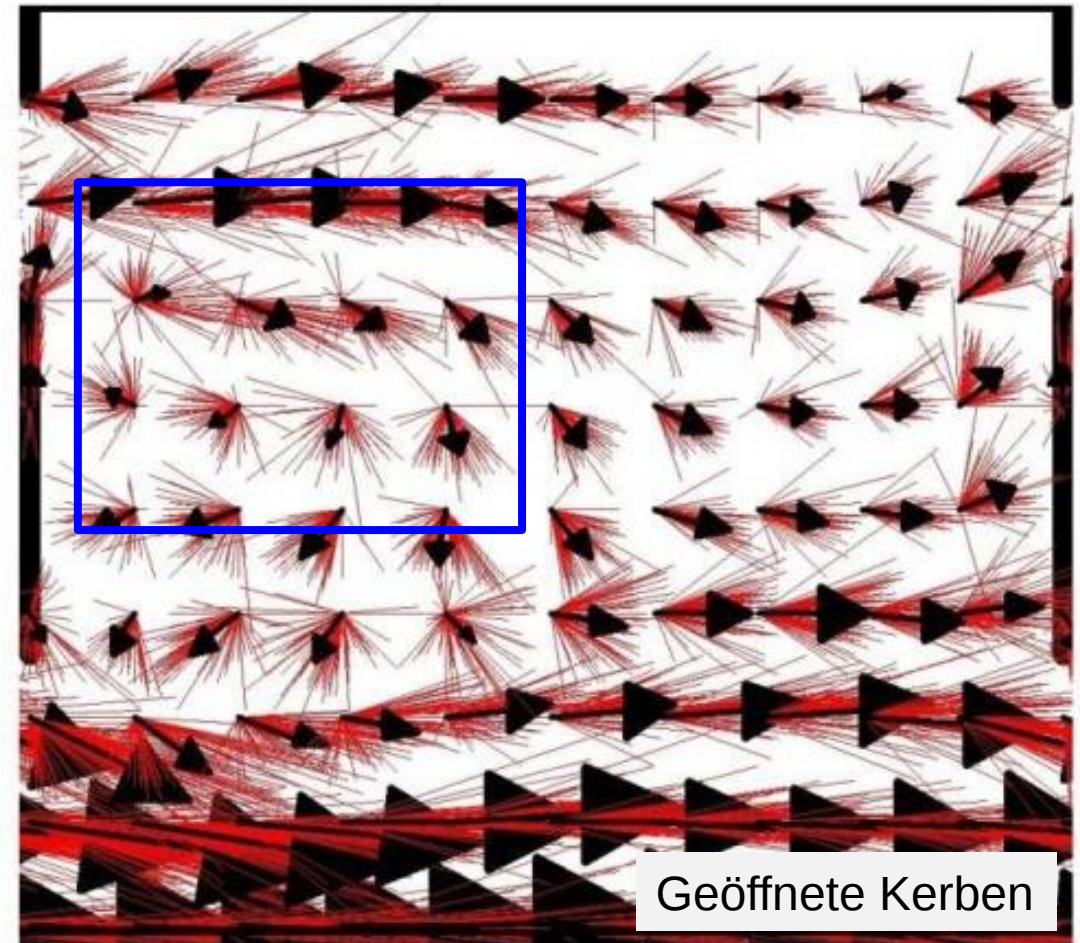
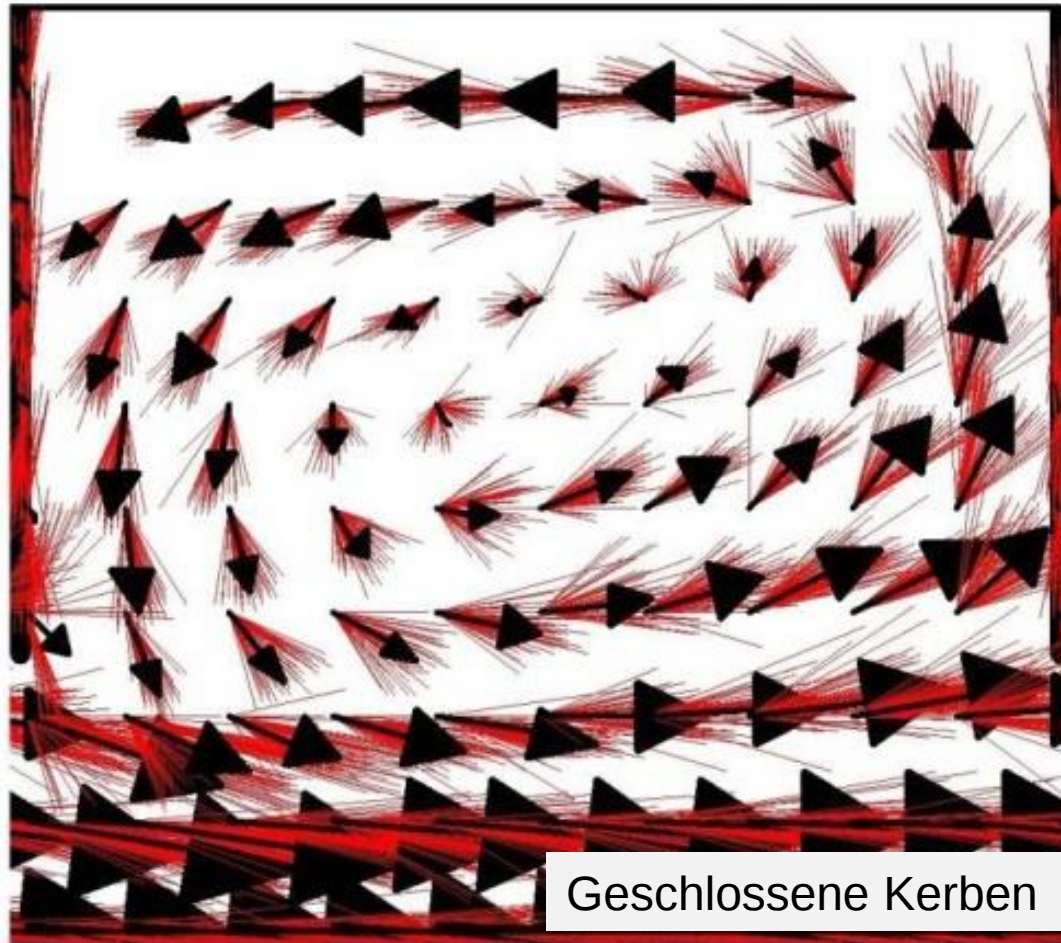
Untersuchungen bei umströmten Buhnen
Schematisierte Buhnenkörper
Varianten V2 und V3: Buhnen und Buhnenkerben



Systematische Untersuchungen zu Stromregelungsbauwerken in Laborrinnen



Systematische Untersuchungen zu Stromregelungsbauwerken in Laborrinnen



*Einzelvektoren und Mittelwerte im Bühnenfeld bei geschlossenen und bei geöffneten Kerben.
Für die Sohldynamik sind nicht die Mittelwerte entscheidend.*

Neues morphologisches Krümmungsmodell der BAW in Karlsruhe



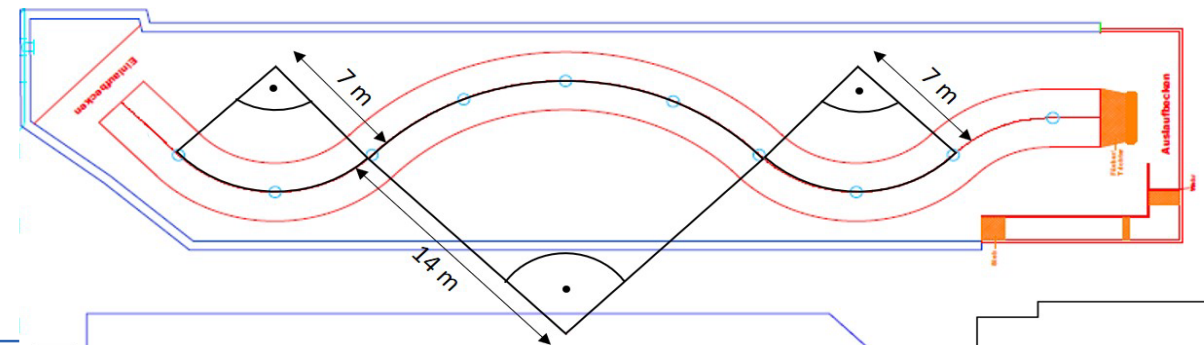
Abstraktion eines freifließenden mäandrierenden Flusses

2,5 kleine Krümmungen (Radius: 7 m)

1 große Krümmung (Radius: 14m)

Derzeit 90 Bühnen, voll bewegliche Sohle

Neigung 0,3 ‰, Länge 60 m

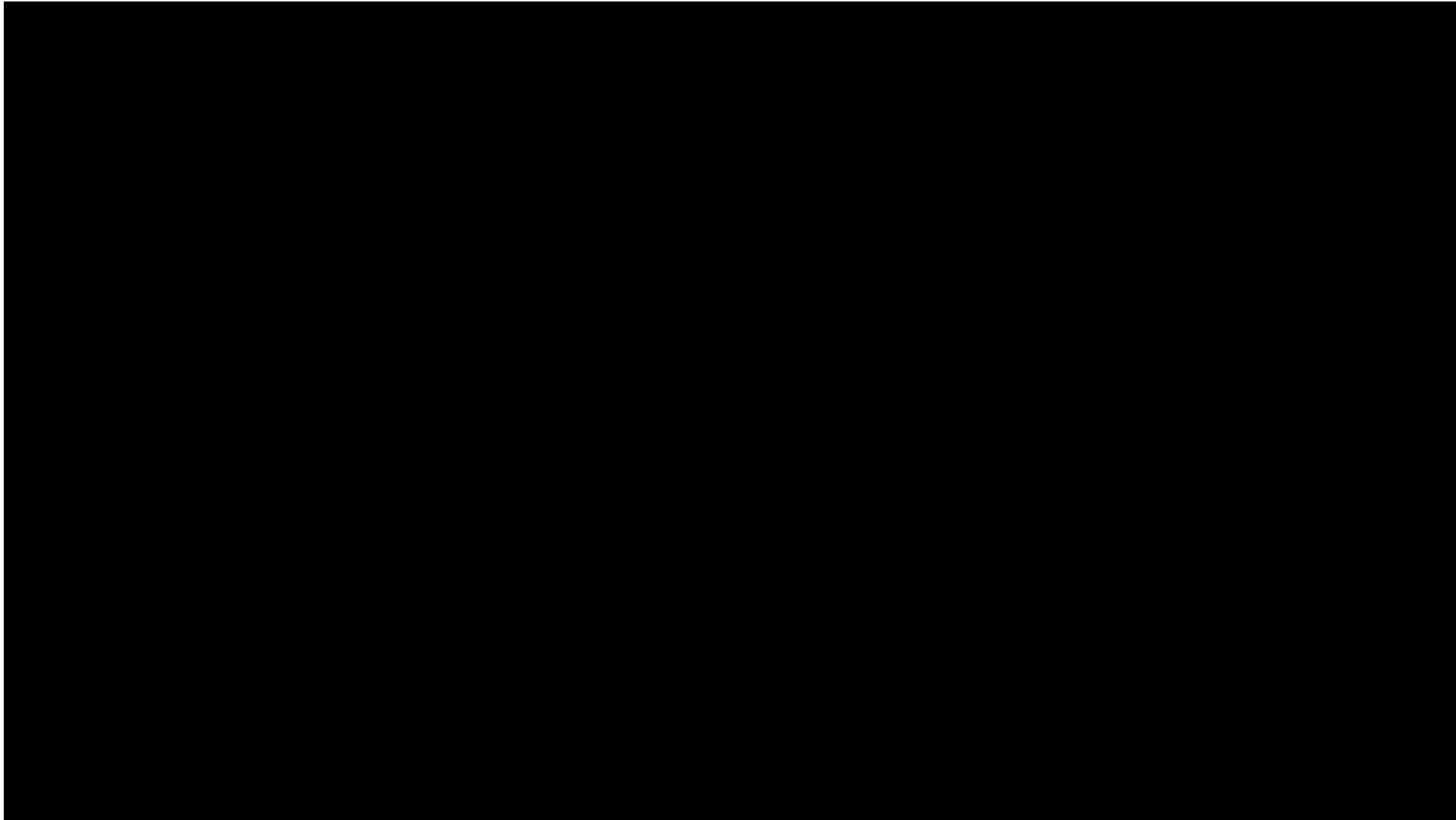


Neues morphologisches Krümmungsmodell

Zeitraffer Video über mehrere Versuchsabflüsse im Bereich der großen Krümmung.

Im Ist-Zustand sind im Modell bei NW und zum Teil bei MW wegen des gewählten Breiten/Tiefenverhältnisses freie Alternierende Bänke zu beobachten.

Das Modell ist derzeit so dimensioniert, dass es für Untersuchungen an der Elbe-Reststrecke (El-km 508 – 521) genutzt werden kann.



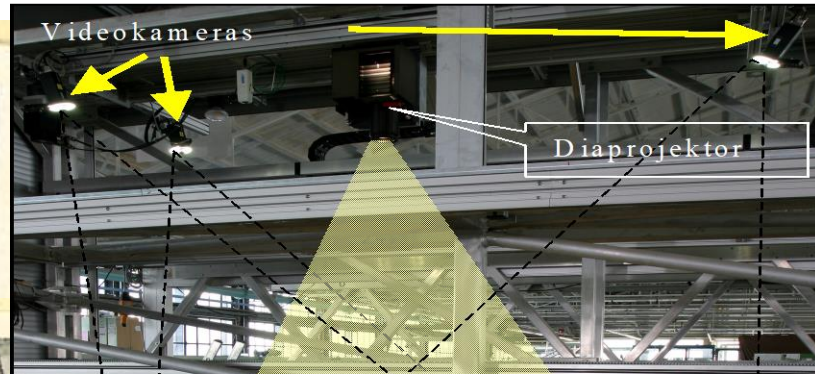
Entwicklung der Messtechnik, optische Dokumentationen und Vermessungen



1953, FAS
Potsdam

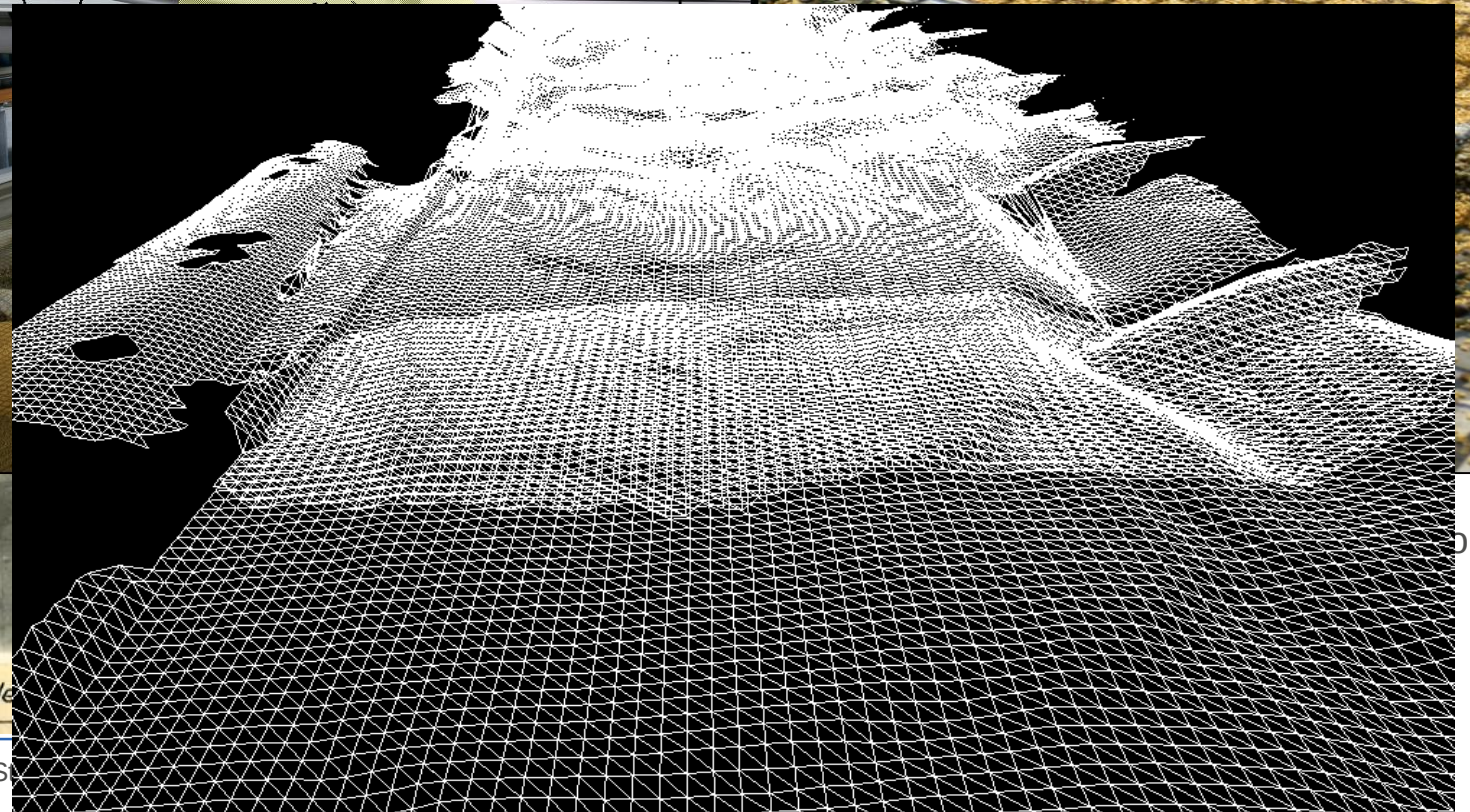


Modell Warnemünde Versuch 3, Auslegen de



Photogrammetrie zur automatisierten und hochgenauen Vermessung von

- Sohlgeometrien (auch unter Wasser)
- Wasserspiegellagen
- Oberflächengeschwindigkeiten

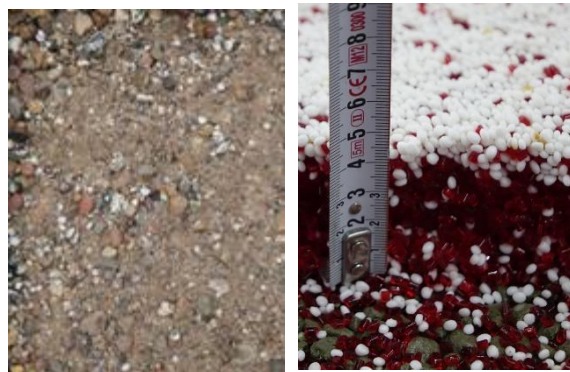


... und wie geht es weiter?

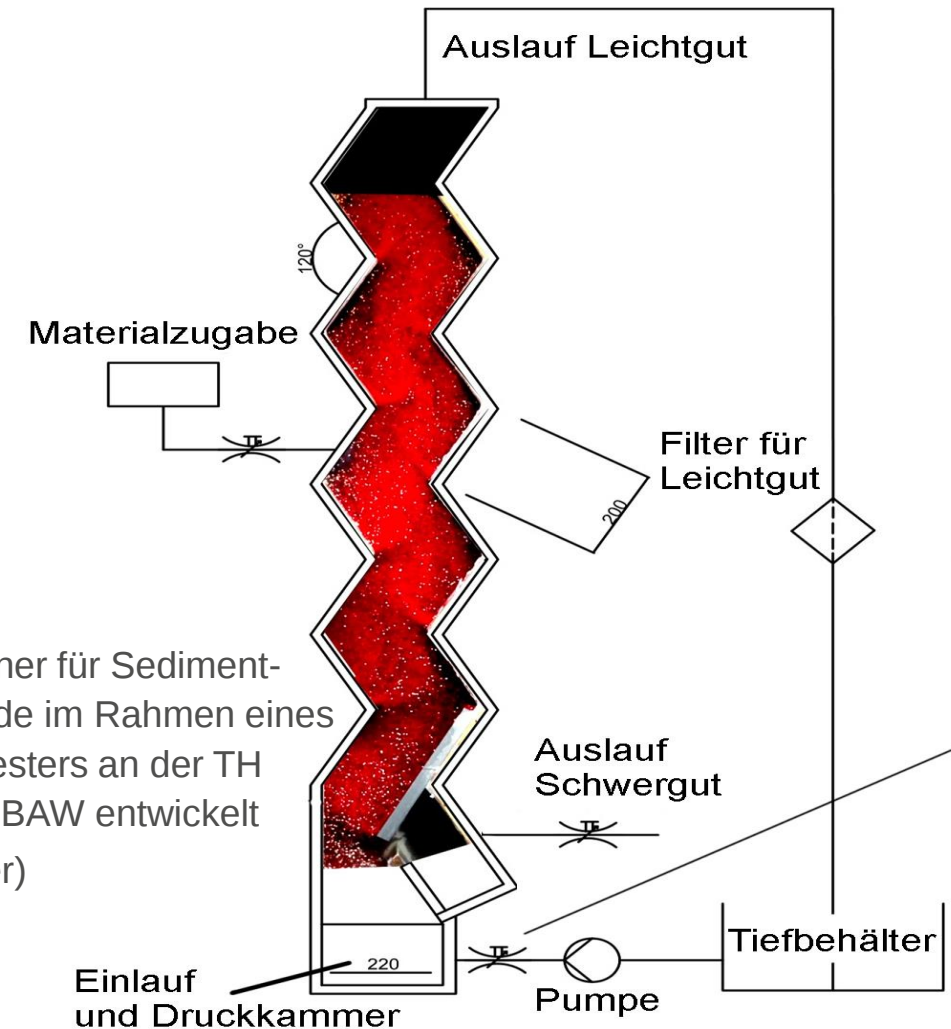
Immer bessere Natur- und Modelldaten ermöglichen immer bessere
Die Mess- und Regeltechnik entwickelt sich rasant weiter.
In Kooperationen mit Hochschulen werden die Modelltheorien weiter
entwickelt (u.a. Sonderheft der WasserWirtschaft 05/2021)



In einer Forschungsk Kooperation von BAW und HS Magdeburg/Stendal wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem ungleichförmige Geschiebemischungen mit einer Mischung aus Kunststoffgranulaten nachgebildet werden können.



Ein Granulattrenner für Sedimentmischungen wurde im Rahmen eines Forschungssemesters an der TH Nürnberg für die BAW entwickelt (Michael Akstaller)

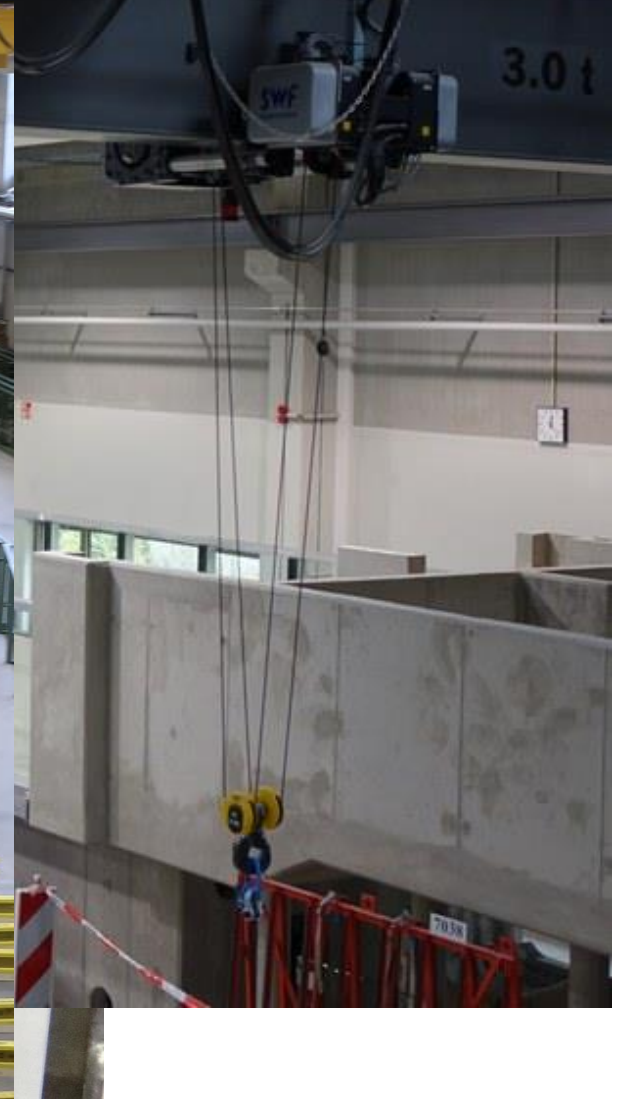


Wasserbaulabor der TU Dresden (Hubert-Engels-Labor), (Eröffnung 2015) Quelle TU Dresden

Neue Wasserbaulabore an

Wasserbaulabor der

Wasserbaulabor der VAW



Wasserbaulabor der Boku Wien (Eröffnung 2023)
Große Rinne mit 10 m³/s (Quelle: Faulhaber)

Modellversuche und die Medien

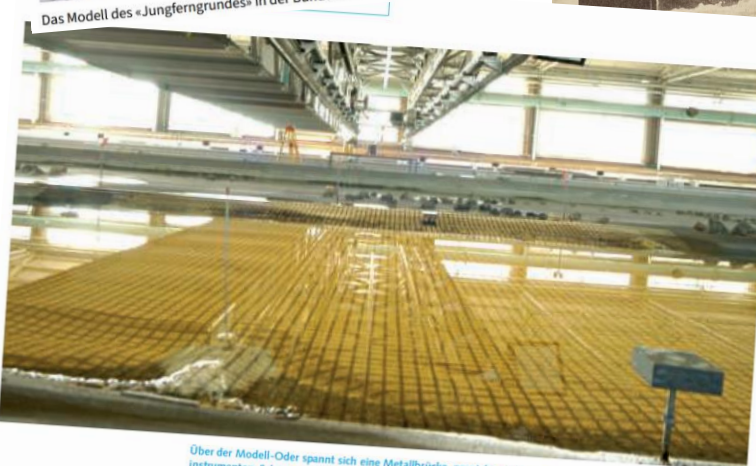
LKZ.de Ludwigsburger Kreiszeitung

Wasserstraßen sollen fit für die Zukunft werden

23.06.2022, 14:26 Uhr | aktualisiert: 24.06.2022, 09:26 Uhr



Das Modell des «Jungferngrundes» in der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). Foto: Uli Deck



Über der Modell-Oder spannt sich eine Metallbrücke, gespickt mit Messinstrumenten: Scheinwerfer mit Gitternetzen zeichnen ein präzises Raster auf Wasser und Sandboden, Spezialkameras halten die Dünenwanderung im Flussbett fest. In zig Tests variieren die Forscher die Bedingungen.

7. Dezember 2020 3518 68



Die Mini-Oder von Karlsruhe

100-Milli-Oder von Karlsruhe

Wissenschaftler haben den beim Hochwasser berühmt gewordenen Flussabschnitt bei Hohenwutzen im Modell nachgebaut. Sie sind dem Chaos unter Wasser auf der Spur – den Strömungen und wandernden Sandbänken, die den Binnenschiffen das Leben schwer machen / Von Ina Matthei



sch
Sa
bezu
den
aus
lich
Bund
Kath
Nicht
denn
Main
mal
in der
Würm
von Fl
schl
tiegend
In der
schl
graflich
Mens
schul
und
das bek
kopier
meiner
Höher
begleit
enden, Zar
tehe bei
ligke Sch
auf deutsch
Hear wäre
flam worden
fast aufgegeben



Sandkastenspiele für die Forschung
Die Mini- Oder fließt im Saal

Die Mini- Oder meist im Sud-

Flüsse sind eigensinnige und individuelle Gebilde. Sie lassen sich um für die Schifffahrt verlässliche Bedingungen zu sichern, nicht ohne weiteres berechnen oder im Computer simulieren. bauen Wissenschaftler sie maßstabsgetreu im Labor nach

DETLEF KANSY UND BAW

$H = \frac{1}{2\pi} \cdot h \cdot \left(1 - \frac{z}{r}\right)$ Atomphysik? Astronomie? Oder d...
kungsgrad einer Waschmaschine...
... mathematisch etwas zu faul...

schritte. Die größten sind knapp 80 Meter lang und bis zu 20 Meter breit. „Modelle wie unsere muss man in Deutschland heute suchen“, sagt Jürgen Stamm, bei der BAW Leiter der Abteilung Wasserbau im Binnenbereich. „Lange Zeit hieß es, wozu brauchen wir Labors, wir können doch alles simulieren.“ Universitäten und wasserbauliche Institute rüsteten physisch ab und virtuell auf.

[illegible]

Der zweite Grund macht der Bevölkerung im Oderbruch allerdings deutlich mehr Sorgen: Eishochwasser. Friert es an einem Tag und bricht die geschlossene Eisdecke auf, können sie



Uferstrand - bei Potsdam

Ein Fluß wird der Natur nachgebaut / Von Heli Warben



Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe

www.baw.de



Animierte DGM aus photogrammetrischer Sohlvermessung. Modell Hohenwutzen, BAW
Unterwasseraufnahmen der Sohle im Abstand von 10 Sekunden